

**INTERNATIONAL  
STANDARD**

**IEC  
CEI**

**NORME  
INTERNATIONALE**

**60846-2**

First edition  
Première édition  
2007-07

---

---

**Radiation protection instrumentation –  
Ambient and/or directional dose equivalent  
(rate) meters and/or monitors for beta, X and  
gamma radiation –**

**Part 2:  
High range beta and photon dose and dose rate  
portable instruments for emergency radiation  
protection purposes**

**Instrumentation pour la radioprotection –  
Instruments pour la mesure et/ou la surveillance  
de l'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent  
de dose) ambiant et/ou directionnel pour les  
rayonnements bêta, X et gamma –**

**Partie 2:  
Instruments portables de grande étendue, pour  
la mesure de la dose et du débit de dose des  
rayonnements photoniques et bêta dans des  
situations d'urgence de radioprotection**



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

PRICE CODE  
CODE PRIX

**Q**

*For price, see current catalogue  
Pour prix, voir catalogue en vigueur*

## CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope and object.....	6
2 Normative references .....	6
3 Terms and definitions .....	7
4 General characteristics of ambient dose equivalent (rate) meters for emergency purposes .....	7
4.1 General.....	7
4.1.1 Indication.....	7
4.1.2 Read-out .....	7
4.1.3 Dose equivalent (rate) meter labels and markings .....	7
4.1.4 Dose equivalent and dose equivalent rate range.....	7
4.1.5 Effective range of measurement .....	7
4.1.6 Minimum range of measurement.....	7
4.1.7 Alarm levels.....	7
4.1.8 Additional indication .....	7
4.1.9 Failure operation of indication.....	8
4.1.10 Ease of decontamination .....	8
4.1.11 Portability .....	8
4.1.12 Protection of switches.....	8
4.1.13 Use of extension probe.....	8
4.2 Classification of the performance characteristics .....	8
4.3 General test procedures .....	8
4.4 Contamination probe .....	8
5 Radiation characteristics – Directional dose equivalent (rate) meters .....	8
5.1 Relative intrinsic error .....	8
5.2 Variation of response with beta radiation energy and angle of incidence .....	8
5.2.1 Requirements .....	8
5.2.2 Test method .....	8
5.3 to 5.6.....	9
5.7 Statistical fluctuations .....	9
5.7.1 Requirements .....	9
5.7.2 Test method .....	9
5.8 and 5.9.....	9
6 Radiation characteristics – Ambient dose equivalent (rate) meters .....	9
6.1 Relative intrinsic error .....	9
6.2 Variation of response with photon radiation energy and angle of incidence.....	9
6.2.1 General .....	9
6.2.2 Requirements .....	9
6.2.3 Test method .....	9
6.3 to 6.5.....	10
6.6 Statistical fluctuations .....	10
6.6.1 Requirements .....	10
6.6.2 Test method .....	10
6.7 and 6.8.....	10
6.9 Extracameral response.....	11

6.9.1	Requirements .....	11
6.9.2	Test method .....	11
6.10	Response of instrument with extended probe .....	11
6.10.1	Requirements .....	11
6.10.2	Test method .....	11
7	Electrical characteristics of ambient dose equivalent (rate) meters .....	11
7.1 and 7.2	.....	11
7.3	Warm-up time.....	11
7.3.1	Requirements .....	11
7.3.2	Test method .....	11
7.4 and 7.5	.....	11
8	Mechanical characteristics of ambient dose equivalent (rate) meters .....	12
8.1	Mechanical shock during operation.....	12
8.2	Orientation of dose equivalent (rate) meter (geotropism) .....	12
8.3	Drop test .....	12
8.3.1	Requirements .....	12
8.3.2	Test method .....	12
9	Environmental characteristics, performance requirements and tests .....	12
9.1	Ambient temperature influence .....	12
9.1.1	Requirements .....	12
9.1.2	Test method .....	13
9.2	Relative humidity.....	13
9.3	Atmospheric pressure.....	13
9.4	Sealing against moisture .....	13
9.5	Storage and transport.....	13
9.6	Electromagnetic compatibility .....	13
9.7	Vibration and shock during transport and shipping .....	13
9.8	Temperature shock.....	13
9.8.1	Requirements .....	13
9.8.2	Test method .....	14
10	Summary of characteristics .....	14
11	Documentation .....	14
	Bibliography.....	17
	Table 1 – Limits of the coefficient of variation and of the relative intrinsic error.....	15
	Table 2 – Radiation characteristics of directional dose equivalent (rate) meters .....	15
	Table 3 – Radiation characteristics of ambient dose equivalent (rate) meters.....	15
	Table 4 – Electrical, mechanical and environmental characteristics of directional and ambient dose equivalent (rate) meters .....	16

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

### **RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – AMBIENT AND/OR DIRECTIONAL DOSE EQUIVALENT (RATE) METERS AND/OR MONITORS FOR BETA, X AND GAMMA RADIATION –**

#### **Part 2: High range beta and photon dose and dose rate portable instruments for emergency radiation protection purposes**

### FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60846-2 has been prepared by subcommittee 45B: Radiation protection instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

This part of IEC 60846 is to be used in conjunction with IEC 60846:2002.

NOTE IEC 60846:2002 is currently under revision and will be issued as IEC 60846-1 around 2008-2009. This part of IEC 60846 will then be revised with references to the new publication IEC 60846-1.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
45B/542/FDIS	45B/549/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 60846 series, under the general title *Radiation protection instrumentation – Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

# **RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – AMBIENT AND/OR DIRECTIONAL DOSE EQUIVALENT (RATE) METERS AND/OR MONITORS FOR BETA, X AND GAMMA RADIATION –**

## **Part 2: High range beta and photon dose and dose rate portable instruments for emergency radiation protection purposes**

### **1 Scope and object**

This part of the IEC 60846 series applies to portable or transportable dose equivalent (rate) meters and/or monitors for the measurement of ambient and/or directional dose equivalent (rate) from external beta, X and gamma radiation during emergency situations. It applies directly to dose equivalent (rate) meters intended for the determination of the dose equivalent or dose equivalent rate from external beta and/or X and gamma radiation of energies up to 10 MeV during emergency situations.

The object of this part of the IEC 60846 series is to specify the design requirements and the performance characteristics of dose equivalent (rate) meters intended for the determination of ambient and/or directional dose equivalent (rate) as defined in ICRU Report 47 under emergency conditions. With the exception of modified or new clauses listed below, all clauses in IEC 60846:2002 are applicable for instruments used for emergency purposes.

This part of the IEC 60846 series does not specify which instruments are required nor does it consider the numbers or specific locations of such instruments. This part of the IEC 60846 series does not identify instrumentation for specific types of accidents. It is essential that the rated ranges of the instruments and the radiological and non-radiological conditions for which the instruments are designed adequately cover the accident and post-accident conditions as determined by accident analysis and/or specified by appropriate regulatory authorities or qualified individuals. It is expected that accidents will involve both dose equivalent (rate) and environmental extremes (e.g. temperature and humidity). Specifications for instruments for measuring dose equivalent rates less than the minimum detectable dose rate level specified in this part of the IEC 60846 series are contained in IEC 60846:2002. Where such instruments are also to be used for emergency measurements, they shall also meet the requirements of this part of the IEC 60846 series.

Although this part of the IEC 60846 series specifies the requirements for instruments primarily for emergency use, such instruments may also be used for on-site measurements at other times. If the instrument has a remote detector and if an additional detector is provided in the measuring assembly to measure dose equivalent rate at the location of the operator, the requirements shall apply to both of the detectors.

### **2 Normative references**

This clause of IEC 60846:2002 applies, with the following additional references:

IEC 60325:2002, *Radiation protection instrumentation – Alpha, beta and alpha/beta (beta energy >60 keV) contamination meters and monitors*

IEC 60846:2002, *Radiation protection instrumentation – Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	20	
1	Domaine d'application et objet.....	22
2	Références normatives.....	23
3	Termes et définitions.....	23
4	Caractéristiques générales des instruments de mesure d'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent de dose) ambiant pour les situations d'urgence.....	23
4.1	Généralités.....	23
4.1.1	Indication.....	23
4.1.2	Lecture.....	23
4.1.3	Marques et indications de l'instrument de mesure d'équivalent de dose (ou de débit d'équivalent de dose).....	23
4.1.4	Domaine en équivalent de dose et en de débit d'équivalent de dose.....	23
4.1.5	Etendue de mesure.....	24
4.1.6	Etendue de mesure minimale.....	24
4.1.7	Niveaux d'alarme.....	24
4.1.8	Indications complémentaires.....	24
4.1.9	Défaut d'affichage.....	24
4.1.10	Facilité de décontamination.....	24
4.1.11	Portabilité.....	24
4.1.12	Protection des commutateurs.....	24
4.1.13	Utilisation d'une sonde à extension.....	24
4.2	Classement des caractéristiques de fonctionnement.....	24
4.3	Procédures générales d'essai.....	24
4.4	Sonde de contamination.....	24
5	Caractéristiques sous rayonnement – Instrument de mesure d'équivalent de dose (ou de débit d'équivalent de dose) directionnel.....	25
5.1	Erreur relative intrinsèque.....	25
5.2	Variation de la réponse avec l'énergie de rayonnement bêta et l'angle d'incidence.....	25
5.2.1	Exigences.....	25
5.2.2	Méthode d'essai.....	25
5.3 à 5.6	.....	25
5.7	Fluctuations statistiques.....	25
5.7.1	Exigences.....	25
5.7.2	Méthode d'essai.....	25
5.8 et 5.9	.....	25
6	Caractéristiques sous rayonnement – Instruments de mesure d'équivalent de dose (ou de débit d'équivalent de dose) ambiant.....	25
6.1	Erreur relative intrinsèque.....	25
6.2	Variation de la réponse avec l'énergie des photons et l'angle d'incidence.....	25
6.2.1	Généralités.....	25
6.2.2	Exigences.....	26
6.2.3	Méthode d'essai.....	26
6.3 à 6.5	.....	27
6.6	Fluctuations statistiques.....	27
6.6.1	Exigences.....	27

6.6.2	Méthode d'essai .....	27
6.7 et 6.8	.....	27
6.9	Réponse extra-camera .....	27
6.9.1	Exigences.....	27
6.9.2	Méthode d'essai .....	27
6.10	Réponse de l'instrument possédant une sonde à extension .....	27
6.10.1	Exigences.....	27
6.10.2	Méthode d'essai .....	27
7	Caractéristiques électriques des instruments de mesure de l'équivalent de dose (ou du débit ) ambiant .....	28
7.1 et 7.2	.....	28
7.3	Temps de chauffage.....	28
7.3.1	Exigences.....	28
7.3.2	Méthode d'essai .....	28
7.4 et 7.5	.....	28
8	Caractéristiques mécaniques des instruments de mesure de l'équivalent de dose (débit) .....	28
8.1	Choc mécanique en cours de fonctionnement.....	28
8.2	Orientation de l'instrument de mesure de l'équivalent de dose (ou du débit) (géotropisme).....	28
8.3	Essai de chute.....	28
8.3.1	Exigences.....	28
8.3.2	Méthode d'essai .....	28
9	Caractéristiques d'environnements, exigences de bon fonctionnement et essais .....	29
9.1	Influence de la température ambiante.....	29
9.1.1	Exigences.....	29
9.1.2	Méthode d'essai .....	29
9.2	Humidité relative .....	30
9.3	Pression atmosphérique .....	30
9.4	Étanchéité à l'humidité .....	30
9.5	Stockage et transport .....	30
9.6	Compatibilité électromagnétique.....	30
9.7	Vibrations et chocs mécaniques .....	30
9.8	Choc en température.....	30
9.8.1	Exigences.....	30
9.8.2	Méthode d'essai .....	30
10	Résumé des caractéristiques.....	31
11	Documentation .....	31
	Bibliographie.....	33
	Tableau 1 – Limites du coefficient de variation et de l'erreur intrinsèque relative .....	31
	Tableau 2 – Caractéristiques sous rayonnement des instruments de mesure d'équivalent de dose (ou de débit d'équivalent de dose) directionnel .....	32
	Tableau 3 – Caractéristiques de rayonnement des instruments de mesure d'équivalent de dose (ou de débit d'équivalent de dose) ambiants .....	32
	Tableau 4 – Caractéristiques électriques, mécaniques et environnementales des instruments de mesure d'équivalent de dose (ou de débit d'équivalent de dose) directionnels et ambiants .....	32

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

### **INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – INSTRUMENTS POUR LA MESURE ET/OU LA SURVEILLANCE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE (OU DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE) AMBIANT ET/OU DIRECTIONNEL POUR LES RAYONNEMENTS BÊTA, X ET GAMMA –**

#### **Partie 2: Instruments portables de grande étendue, pour la mesure de la dose et du débit de dose des rayonnements photoniques et bêta dans des situations d'urgence de radioprotection**

##### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60846-2 a été préparée par le sous-comité 45B: Instrumentation pour la radioprotection, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

La présente partie de la CEI 60846 doit être utilisée conjointement avec la CEI 60846:2002.

NOTE La CEI 60846:2002 est actuellement en cours de révision et sera publiée en tant que CEI 60846-1 vers 2008-2009. La partie de la CEI 60846 sera alors révisée avec des références à la nouvelle publication CEI 60846-1.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45B/542/FDIS	45B/549/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de la présente Norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les normes de la série 60846 dont le titre général est *Instrumentation pour la radioprotection – Instruments pour la mesure et/ou la surveillance de l'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent de dose) ambiant et/ou directionnel pour les rayonnements bêta, X et gamma*, est disponible sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date du résultat de la maintenance indiquée sur le site web de la CEI <http://webstore.iec.ch>, dans les données spécifiques à cette publication. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

**INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION –  
INSTRUMENTS POUR LA MESURE ET/OU LA SURVEILLANCE DE  
L'ÉQUIVALENT DE DOSE (OU DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE)  
AMBIANT ET/OU DIRECTIONNEL POUR LES RAYONNEMENTS  
BÊTA, X ET GAMMA –**

**Partie 2: Instruments portables de grande étendue, pour la mesure de la  
dose et du débit de dose des rayonnements photoniques et bêta dans des  
situations d'urgence de radioprotection**

## **1 Domaine d'application et objet**

La présente partie de la CEI 60846 est applicable aux instruments portables ou transportables de mesure et/ou de surveillance de l'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent de dose) ambiant et/ou directionnel pour les rayonnements externes bêta, X et gamma, dans des situations d'urgence. Elle est directement applicable aux instruments de mesure de l'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent de dose) destinés à la détermination de l'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent de dose) de rayonnements externes bêta et/ou X et gamma d'énergie jusqu'à 10 MeV, dans des situations d'urgence.

L'objet de la présente partie de la CEI 60846 est de spécifier les exigences de conception et les caractéristiques d'aptitude à la fonction des instruments de mesures d'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent de dose) destinés à la détermination de l'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent de dose) tel que défini dans le rapport ICRU 47, pour les situations d'urgence. A l'exception des articles modifiés ou nouveaux listés ci-dessous, tous les articles de la CEI 60846:2002 sont applicables pour les instruments utilisés dans une situation d'urgence.

La présente partie de la CEI 60846 ne spécifie pas quels instruments sont requis, ni ne considère le nombre d'emplacements spécifiques de tels instruments. La présente partie de la CEI 60846 n'identifie pas l'instrumentation pour des types particuliers d'accidents. Il est essentiel que les étendues assignées des instruments et que les conditions radiologiques et non radiologiques pour lesquelles les instruments sont conçus, couvrent les conditions d'accidents et post accidents telles qu'elles sont analysées et/ou spécifiées par l'autorité réglementaire compétente ou par les personnes qualifiées. Il est prévu que ces accidents impliqueront à la fois des équivalents de dose (ou des débits d'équivalent de dose) extrêmes et des conditions environnementales extrêmes (par exemple, température et humidité). Les spécifications pour les instruments de mesure de débits d'équivalent de dose inférieurs au débit de dose minimum détectable spécifié dans la présente partie de la CEI 60846 sont contenus dans la CEI 60846:2002. Quand de tels instruments sont aussi utilisés comme instruments d'urgence, ils doivent aussi répondre aux exigences de la présente partie de la CEI 60846.

Même si la présente partie de la CEI 60846 spécifie les exigences pour les instruments destinés initialement aux situations d'urgence, ces derniers peuvent aussi être utilisés pour des mesures sur site en d'autres circonstances. Si l'instrument possède un détecteur à distance et si un détecteur supplémentaire est fourni dans le dispositif pour mesurer le débit d'équivalent de dose à l'emplacement de l'opérateur, les exigences s'appliquent aux deux détecteurs.

## **2 Références normatives**

Cet article de la CEI 60846:2002 est applicable, avec les références complémentaires suivantes:

CEI 60325:2002, *Instrumentation pour la radioprotection – Contaminamètres et moniteurs de contamination alpha, bêta et alpha/bêta (énergie des bêta >60 keV)*

CEI 60846:2002, *Instrumentation pour la radioprotection – Instruments pour la mesure et/ou la surveillance de l'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent de dose) ambiant et/ou directionnel pour les rayonnements bêta, X et gamma*